

**Ю.Г. ГУЛЯЕВ, Е.И. ШИФРИН****АДАПТАЦИЯ МОДЕЛИ ПРОСТОЙ ПРОДОЛЬНОЙ ПРОКАТКИ ДЛЯ АНАЛИЗА СИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ НЕПРЕРЫВНОЙ ПРОДОЛЬНОЙ БЕЗОПРАВОЧНОЙ ПРОКАТКИ ТРУБ**

В настоящее время при расчётах силовых параметров деформации труб при поперечно-винтовой и продольной прокатке применяют формулу Целикова. Использование этой методики предполагает замену геометрические параметры, характеризующих процесс продольной прокатки полосы, критериями-аналогами, характеризующими условия протекания конкретного процесса изготовления труб. До настоящего времени подобных критериев-аналогов для процесса безоправочной прокатки труб не разработано. Предложены критерии-аналоги для сопоставления процессов простой продольной прокатки листов и непрерывной безоправочной продольной прокатки труб. Рассчитаны коэффициенты подпора для значений критериев-аналогов, соответствующих реальным процессам редуцирования и калибрования труб. С целью упрощения и ускорения вычислительных процедур предложены уравнения, аппроксимирующие расчетные значения коэффициентов подпора. Введено ограничение на максимальные аппроксимированные значения коэффициентов подпора, согласно которым величина коэффициента подпора не может быть больше значения при внедрении пуансона в полупространство. Результаты разработки прошли промышленную апробацию при расчёте маршрутов прокатки в редуцированном стане трубокатного агрегата (ТПА) «30-102» и калибровочном стане ТПА «350».

**Ключевые слова:** безоправочная прокатка труб, коэффициент подпора, критерий-аналог, аппроксимация.

**Ю.Г. ГУЛЯЄВ, Є.І. ШИФРІН****АДАПТАЦІЯ МОДЕЛІ ПРОСТОЇ ПОЗДОВЖНЬОЇ ПРОКАТКИ ДЛЯ АНАЛІЗУ СИЛОВИХ ПАРАМЕТРІВ БЕЗПЕРЕРВНОЇ ПОЗДОВЖНЬОЇ БЕЗОПРАВОЧНОЇ ПРОКАТКИ ТРУБ**

В даний час при розрахунках силових параметрів деформації труб при поперечно-гвинтовій та поздовжній прокатці застосовують формулу Целикова. Використання цієї методики припускає заміну геометричних параметрів, що характеризують процес поздовжньої прокатки смуги, критеріями-аналогами, що характеризують умови протікання конкретного процесу виготовлення труб. До теперішнього часу подібних критеріїв-аналогів для процесу безоправочної прокатки труб не розроблено. Запропоновано критерії-аналоги для зіставлення процесів простої поздовжньої прокатки листів і безперервної безоправочної поздовжньої прокатки труб. Розраховані коефіцієнти підпору для значень критеріїв-аналогів, що відповідають реальним процесам редукування і калібрування труб. З метою спрощення і прискорення обчислювальних процедур запропоновані рівняння, що аппроксимирующие розрахункові значення коефіцієнтів підпору. Введено обмеження на максимальні аппроксимирують значення коефіцієнтів підпору, згідно з якими величина коефіцієнта підпору не може бути більше значення при введенні пуансона в полупространство. Результати розробки пройшли промислову апробацію при розрахунку маршрутів прокатки в редуційній стані трубокатного агрегату (ТПА) «30-102» і калібрувальному стані ТПА «350».

**Ключові слова:** безоправочная прокатка труб, коефіцієнт підпора, критерій-аналог, аппроксимация.

**YU.G. GULYAEV, E.I. SHIFRIN****ADAPTATION OF A MODEL OF SIMPLE LONG-TERM ROLLING FOR ANALYSIS OF POWER PARAMETERS OF CONTINUOUS LONG-TERM ROLL-UP ROLLS**

At present, when calculating the force parameters of pipe deformation, when applying helical and longitudinal rolling, the Tselikov formula is used. The use of this technique implies the replacement of the geometric parameters characterizing the process of longitudinal rolling of the strip with analogous criteria characterizing the conditions of a specific process for the manufacture of pipes. To date, no such criteria-analogs for the process of pipe-free rolling of pipes have been developed. Criteria – analogues are proposed for comparing the processes of simple longitudinal rolling of sheets and continuous unaligned longitudinal rolling of pipes. The backpressure coefficients were calculated for the values of the criteria-analogs corresponding to the actual processes of pipe reduction and calibration. In order to simplify and speed up computational procedures, equations have been proposed that approximate the calculated values of the backpressure coefficients. A restriction has been introduced on the maximum approximated values of the backwater coefficients, according to which the value of the backwater coefficient cannot be greater than the value when a punch is introduced into the half-space. The results of the development have passed industrial approbation when calculating the rolling routes in the reduction mill of the pipe-rolling unit (TPA) "30-102" and the calibration mill of the TPA "350".

**Keywords:** pipe-free rolling of tubes, backpressure ratio, criterion – analogue, approximation.

**Введение.** В 1939 году А.И. Целиков вывел известную формулу для расчёта коэффициента подпора при прокатке [1]. Начиная с 1946 года и до настоящего времени формулу Целикова применяют в методиках расчётов силовых параметров деформации труб при поперечно-винтовой [2, стр. 457] и продольной прокатке [3, стр. 114]. При использовании этих методик геометрические параметры, характеризующие процесс продольной прокатки полосы, заменяют критериями-аналогами, характеризующими условия протекания конкретного процесса изготовления труб. До настоящего времени подобных критериев-аналогов для процесса безоправочной прокатки труб не разработано.

**Цель работы.** Разработать критерии-аналоги для использования коэффициентов подпора, рассчитанных

для случая простой продольной прокатки листов, при анализе силовых параметров непрерывной безоправочной продольной прокатки труб.

**Постановка задачи.** В работе [4] предложен модифицированный метод расчёта коэффициентов подпора при простой продольной прокатке листов. Рассчитанные по этому методу значения коэффициента подпора  $n_{\text{спр}}(f, \bar{L}, \bar{R})$  могут быть использованы при расчёте силовых параметров безоправочной продольной прокатки труб в случае установления критерия-аналога величины относительной длины очага деформации

$$\bar{L} = \frac{2\bar{R}}{2 - \varepsilon} \cdot \sqrt{\frac{\varepsilon}{2\bar{R}} \left( 2 - \frac{\varepsilon}{2\bar{R}} \right)}, \quad (1)$$

где  $\varepsilon = \frac{h_0 - h_1}{h_0}$  – относительная деформация;

$\bar{R} = \frac{R}{h_0}$  – относительный радиус валка;

$h_0, h_1$  – исходная и конечная толщина полосы;

$R$  – радиус валков.

**Аналоги геометрических характеристик.** Для случая непрерывной продольной безоправочной прокатки труб относительной деформацией будет средняя относительная деформация по диаметру

$$\varepsilon = \frac{D_j - D_i}{D_j}, \quad (2)$$

где  $D_j, D_i$  – средний диаметр трубы до и после деформации в калибре с порядковым номером  $i$ .

Относительный радиус валка можно определить, как

$$\bar{R} = \frac{D_{ui} - D_i}{2D_i}, \quad (3)$$

где  $D_{ui}$  – идеальный диаметр валка в калибре с порядковым номером  $i$ .

Реально при продольной непрерывной безоправочной прокатке труб значение  $\varepsilon$  составляет величину менее 0,1 (для большинства случаев менее 0,06), значение  $\bar{R}$  лежит в пределах  $0,3 \leq \bar{R} \leq 6$  (для большинства случаев  $0,5 \leq \bar{R} \leq 2,5$ ).

**Решение задачи.** Прежде всего, проанализируем влияние коэффициента трения  $f$  на величину коэффициента подпора  $n_{\text{спри}}(f, \bar{L}, \bar{R})$  в области

реальных значений относительных обжатий  $\varepsilon$  и относительных радиусов  $\bar{R}$ . На рис. 1 приведены расчётные значения коэффициента подпора  $n_{\text{спри}}(f, \bar{L}, \bar{R})$  для реальных значений коэффициента внешнего трения ( $f = 0,2 \dots 0,3$  при холодной прокатке сварных труб;  $f = 0,4 \dots 0,45$  при горячей прокатке бесшовных труб).

**Аппроксимация расчётных данных.** Следует отметить, что, даже при использовании современных автоматизированных систем математических вычислений, расчёт коэффициента подпора  $n_{\text{спри}}(f, \bar{L}, \bar{R})$  – процедура сложная и требующая значительных затрат времени как при составлении вычислительных программ, так и при их реализации.

С целью упрощения вычислительных процедур осуществили аппроксимацию точных расчётных данных. Как следует из приведенных на рис. 1 данных, коэффициент трения  $f$  практически не оказывает влияния на значение коэффициента подпора  $n_{\text{спри}}(f, \bar{L}, \bar{R})$  в процессах редуцирования и калибрования бесшовных и сварных труб при реальных значениях геометрических параметров  $\bar{L}$  и  $\bar{R}$ . Этот вывод коррелируется с результатами исследований других авторов [6–9 и др.]. При аппроксимации расчётных данных от влияния коэффициента внешнего трения  $f$  на значение коэффициента подпора  $n_{\text{спри}}(f, \bar{L}, \bar{R})$  абстрагировались. Для случая горячей прокатки бесшовных труб принимали  $f = 0,4$ .

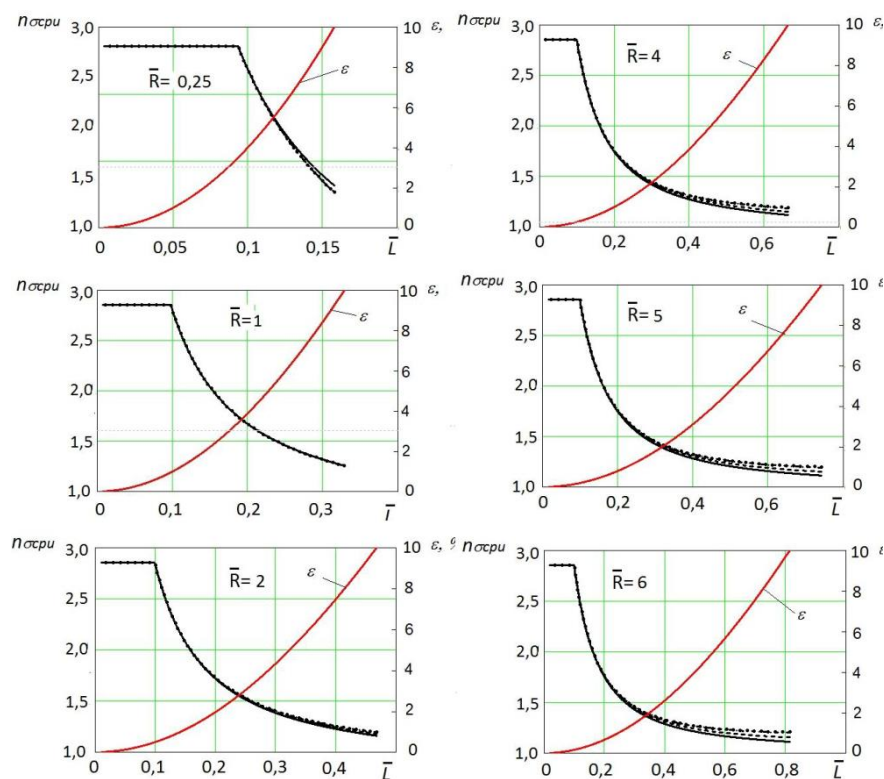


Рис. 1 – Зависимость  $n_{\text{спри}}(f, \bar{L}, \bar{R})$ :  $f = 0,2$  – сплошная линия;  $f = 0,3$  – пунктир;  $f = 0,4$  – штрих-пунктир;  $f = 0,5$  – точки

$$n_{\sigma\pi}(\varepsilon, \bar{R}) = n_{\sigma\pi}[f = 0.4, \bar{L}(\varepsilon, \bar{R}), \bar{R}]$$

и

$$\Phi(\varepsilon, \bar{R}) = \frac{n_{\sigma\pi}(\varepsilon, \bar{R})}{n_{\sigma\pi}(f = 0.4, \bar{L}, \bar{R} = 1)},$$

которые представлены на рис. 2 и рис. 3 соответственно.

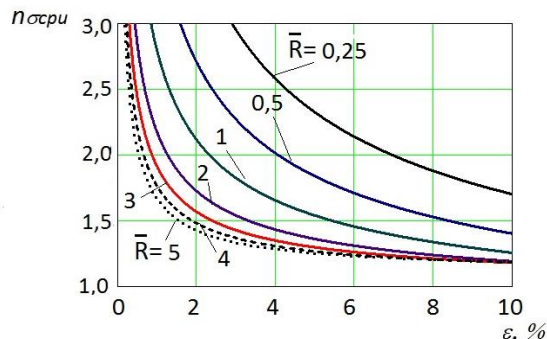


Рис. 2 – Зависимость  $n_{\sigma\pi}(\varepsilon, \bar{R})$

В результате анализа, используя известный алгоритм [10], получили возможность аппроксимации расчётных значений коэффициента подпора  $n_{\sigma\pi}(f, \bar{L}, \bar{R})$  величиной  $n_{\sigma\pi}^{anp}(\varepsilon, \bar{L}, \bar{R})$  по

нижеследующей схеме.

Аппроксимируем  $n_{\sigma\pi}(f = 0.4, \bar{L}, \bar{R} = 1)$  величиной

значением

$$\begin{aligned} (n_{\sigma\pi}^{anp})_1 = & 56517(\bar{L})^6 - 79437(\bar{L})^5 + 46080(\bar{L})^4 - 14208(\bar{L})^3 + \\ & + 2491,7(\bar{L})^2 - 244,76\bar{L} + 12,696 \end{aligned} \quad (4)$$

Аппроксимируем значения  $\Phi(\varepsilon, \bar{R})$  величинами  $\Phi_{\bar{R}}(\varepsilon, \bar{R})$ :

$$\Phi_{0,25} = 1,035(1465,4\varepsilon^4 - 595,97\varepsilon^3 + 104,75\varepsilon^2 - 11,13\varepsilon + 1,8699); \quad (5.1)$$

$$\Phi_{0,5} = 1,01(1215,5\varepsilon^4 - 435,44\varepsilon^3 + 64,79\varepsilon^2 - 5,9265\varepsilon + 1,3748); \quad (5.2)$$

$$\Phi_1 = 1; \quad (5.3)$$

$$\Phi_2 = -3337,1\varepsilon^4 + 912,14\varepsilon^3 - 97,855\varepsilon^2 + 6,2446\varepsilon + 0,7233; \quad (5.4)$$

$$\Phi_3 = -5784,4\varepsilon^4 + 1544,3\varepsilon^3 - 159,99\varepsilon^2 + 9,7316\varepsilon + 0,5991; \quad (5.5)$$

$$\Phi_4 = -7723,9\varepsilon^4 + 2046\varepsilon^3 - 207,95\varepsilon^2 + 12,218\varepsilon + 0,5241; \quad (5.6)$$

$$\Phi_5 = -8957,6\varepsilon^4 + 2380,3\varepsilon^3 - 241,3\varepsilon^2 + 14,025\varepsilon + 0,4727; \quad (5.7)$$

$$\Phi_6 = -10246\varepsilon^4 + 2710\varepsilon^3 - 272,19\varepsilon^2 + 15,568\varepsilon + 0,434. \quad (5.8)$$

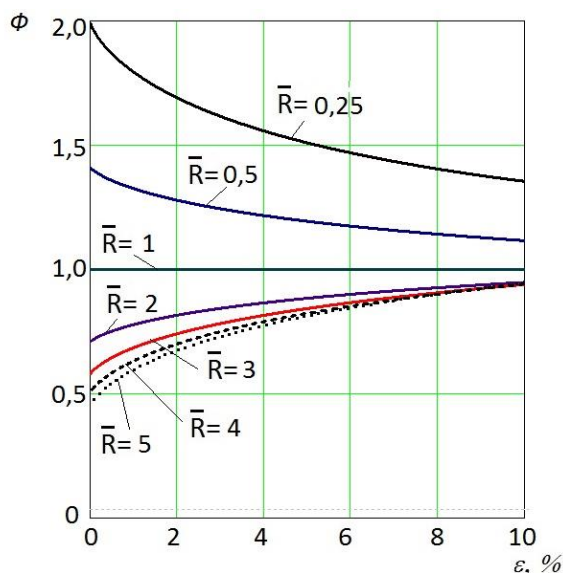


Рис. 3. – Зависимость  $\Phi(\varepsilon, \bar{R}) = \frac{n_{\sigma\pi\mu}(\varepsilon, \bar{R})}{n_{\sigma\pi\mu}(f=0.4, \bar{L}, \bar{R}=1)}$

Аппроксимируем значения коэффициента подпора  $n_{\sigma\pi\mu}(f, \bar{L}, \bar{R})$  при фиксированных значениях показателя  $\bar{R}$ , величинами  $(n_{\sigma\pi\mu}^{anp})_{\bar{R}}$ :

$$(n_{\sigma\pi\mu}^{anp})_{0,25} = (n_{\sigma\pi\mu}^{anp})_1 \cdot \Phi_{0,25}; \quad (6.1)$$

$$(n_{\sigma\pi\mu}^{anp})_{0,5} = (n_{\sigma\pi\mu}^{anp})_1 \cdot \Phi_{0,5}; \quad (6.2)$$

$$(n_{\sigma\pi\mu}^{anp})_1 = (n_{\sigma\pi\mu}^{anp})_1 \cdot \Phi_1; \quad (6.3)$$

$$(n_{\sigma\pi\mu}^{anp})_2 = (n_{\sigma\pi\mu}^{anp})_1 \cdot \Phi_2; \quad (6.4)$$

$$(n_{\sigma\pi\mu}^{anp})_3 = (n_{\sigma\pi\mu}^{anp})_1 \cdot \Phi_3; \quad (6.5)$$

$$(n_{\sigma\pi\mu}^{anp})_4 = (n_{\sigma\pi\mu}^{anp})_1 \cdot \Phi_4; \quad (6.6)$$

$$(n_{\sigma\pi\mu}^{anp})_5 = (n_{\sigma\pi\mu}^{anp})_1 \cdot \Phi_5; \quad (6.7)$$

$$(n_{\sigma\pi\mu}^{anp})_6 = (n_{\sigma\pi\mu}^{anp})_1 \cdot \Phi_6. \quad (6.8)$$

Определяем аппроксимированные значения коэффициента подпора  $(n_{\sigma\pi\mu}^{anp})_{\bar{R}}$  при «промежуточных» значениях показателя  $\bar{R}$ :

$$(n_{\sigma\pi\mu}^{anp})_{0,25 \dots 0,5} = (n_{\sigma\pi\mu}^{anp})_{0,25} \cdot \left( \frac{0,5 - \bar{R}}{0,25} \right) + (n_{\sigma\pi\mu}^{anp})_{0,5} \cdot \left( \frac{\bar{R} - 0,25}{0,25} \right); \quad (7.1)$$

$$(n_{\sigma\pi\mu}^{anp})_{0,5 \dots 1} = (n_{\sigma\pi\mu}^{anp})_{0,5} \cdot \left( \frac{1 - \bar{R}}{0,5} \right) + (n_{\sigma\pi\mu}^{anp})_1 \cdot \left( \frac{\bar{R} - 0,5}{0,5} \right); \quad (7.2)$$

$$(n_{\sigma\pi\mu}^{anp})_{1 \dots 2} = (n_{\sigma\pi\mu}^{anp})_1 \cdot (2 - \bar{R}) + (n_{\sigma\pi\mu}^{anp})_2 \cdot (\bar{R} - 1); \quad (7.3)$$

$$(n_{\sigma\pi\mu}^{anp})_{2 \dots 3} = (n_{\sigma\pi\mu}^{anp})_2 \cdot (3 - \bar{R}) + (n_{\sigma\pi\mu}^{anp})_3 \cdot (\bar{R} - 2); \quad (7.4)$$

$$(n_{\sigma\pi\mu}^{anp})_{3 \dots 4} = (n_{\sigma\pi\mu}^{anp})_3 \cdot (4 - \bar{R}) + (n_{\sigma\pi\mu}^{anp})_4 \cdot (\bar{R} - 3); \quad (7.5)$$

$$(n_{\sigma\pi\mu}^{anp})_{4 \dots 5} = (n_{\sigma\pi\mu}^{anp})_4 \cdot (5 - \bar{R}) + (n_{\sigma\pi\mu}^{anp})_5 \cdot (\bar{R} - 4); \quad (7.6)$$

$$(n_{\sigma\pi\mu}^{anp})_{5 \dots 6} = (n_{\sigma\pi\mu}^{anp})_5 \cdot (6 - \bar{R}) + (n_{\sigma\pi\mu}^{anp})_6 \cdot (\bar{R} - 5). \quad (7.7)$$

Вводим ограничения на максимальные аппроксимированные значения коэффициентов подпора в соответствии с ранее обоснованным положением [4, 5], согласно которому величина

коэффициента подпора не может быть больше того значения, которое она имеет при внедрении пуансона в полупространство,

$$(n_{\sigma_{\text{при}}}^{\text{анр}})_{0,25\dots 0,5} = \begin{cases} 2,856 & \text{если } (n_{\sigma_{\text{при}}}^{\text{анр}})_{0,25\dots 0,5} > 2,856 \\ (n_{\sigma_{\text{при}}}^{\text{анр}})_{0,25\dots 0,5} & \text{если } (n_{\sigma_{\text{при}}}^{\text{анр}})_{0,25\dots 0,5} \leq 2,856 \end{cases}; \quad (8.1)$$

$$(n_{\sigma_{\text{при}}}^{\text{анр}})_{0,5\dots 1} = \begin{cases} 2,856 & \text{если } (n_{\sigma_{\text{при}}}^{\text{анр}})_{0,5\dots 1} > 2,856 \\ (n_{\sigma_{\text{при}}}^{\text{анр}})_{0,5\dots 1} & \text{если } (n_{\sigma_{\text{при}}}^{\text{анр}})_{0,5\dots 1} \leq 2,856 \end{cases}; \quad (8.2)$$

$$(n_{\sigma_{\text{при}}}^{\text{анр}})_{1\dots 2} = \begin{cases} 2,856 & \text{если } (n_{\sigma_{\text{при}}}^{\text{анр}})_{1\dots 2} > 2,856 \\ (n_{\sigma_{\text{при}}}^{\text{анр}})_{1\dots 2} & \text{если } (n_{\sigma_{\text{при}}}^{\text{анр}})_{1\dots 2} \leq 2,856 \end{cases} \quad (8.3)$$

$$(n_{\sigma_{\text{при}}}^{\text{анр}})_{2\dots 3} = \begin{cases} 2,856 & \text{если } (n_{\sigma_{\text{при}}}^{\text{анр}})_{2\dots 3} > 2,856 \\ (n_{\sigma_{\text{при}}}^{\text{анр}})_{2\dots 3} & \text{если } (n_{\sigma_{\text{при}}}^{\text{анр}})_{2\dots 3} \leq 2,856 \end{cases}; \quad (8.4)$$

$$(n_{\sigma_{\text{при}}}^{\text{анр}})_{3\dots 4} = \begin{cases} 2,856 & \text{если } (n_{\sigma_{\text{при}}}^{\text{анр}})_{3\dots 4} > 2,856 \\ (n_{\sigma_{\text{при}}}^{\text{анр}})_{3\dots 4} & \text{если } (n_{\sigma_{\text{при}}}^{\text{анр}})_{3\dots 4} \leq 2,856 \end{cases}; \quad (8.5)$$

$$(n_{\sigma_{\text{при}}}^{\text{анр}})_{4\dots 5} = \begin{cases} 2,856 & \text{если } (n_{\sigma_{\text{при}}}^{\text{анр}})_{4\dots 5} > 2,856 \\ (n_{\sigma_{\text{при}}}^{\text{анр}})_{4\dots 5} & \text{если } (n_{\sigma_{\text{при}}}^{\text{анр}})_{4\dots 5} \leq 2,856 \end{cases}; \quad (8.6)$$

$$(n_{\sigma_{\text{при}}}^{\text{анр}})_{5\dots 6} = \begin{cases} 2,856 & \text{если } (n_{\sigma_{\text{при}}}^{\text{анр}})_{5\dots 6} > 2,856 \\ (n_{\sigma_{\text{при}}}^{\text{анр}})_{5\dots 6} & \text{если } (n_{\sigma_{\text{при}}}^{\text{анр}})_{5\dots 6} \leq 2,856 \end{cases}. \quad (8.7)$$

Получаем окончательное значение аппроксимированного коэффициента подпора  $n_{\sigma_{\text{при}}}^{\text{анр}}(\varepsilon, \bar{L}, \bar{R})$  как непрерывной функции при всех реально возможных сочетаниях значений  $\varepsilon$ ,  $\bar{L}$  и  $\bar{R}$ :

$$n_{\sigma_{\text{при}}}^{\text{анр}} = \begin{cases} (n_{\sigma_{\text{при}}}^{\text{анр}})_{0,25\dots 0,5} & \text{если } 0,25 \leq \bar{R} < 0,5 \\ (n_{\sigma_{\text{при}}}^{\text{анр}})_{0,5\dots 1} & \text{если } 0,5 \leq \bar{R} < 1 \\ (n_{\sigma_{\text{при}}}^{\text{анр}})_{1\dots 2} & \text{если } 1 \leq \bar{R} < 2 \\ (n_{\sigma_{\text{при}}}^{\text{анр}})_{2\dots 3} & \text{если } 2 \leq \bar{R} < 3 \\ (n_{\sigma_{\text{при}}}^{\text{анр}})_{3\dots 4} & \text{если } 3 \leq \bar{R} < 4 \\ (n_{\sigma_{\text{при}}}^{\text{анр}})_{4\dots 5} & \text{если } 4 \leq \bar{R} < 5 \\ (n_{\sigma_{\text{при}}}^{\text{анр}})_{5\dots 6} & \text{если } 5 \leq \bar{R} \leq 6 \end{cases} \quad (9)$$

На рис. 4 представлены точные значения коэффициентов подпора  $n_{\sigma_{\text{при}}}(\varepsilon, \bar{L}, \bar{R})$ , аппроксимированные значения коэффициента подпора  $n_{\sigma_{\text{при}}}^{\text{анр}}(\varepsilon, \bar{L}, \bar{R})$  и величина ошибки

$$P = \frac{n_{\sigma_{\text{при}}}(\varepsilon, \bar{L}, \bar{R}) - n_{\sigma_{\text{при}}}^{\text{анр}}(\varepsilon, \bar{L}, \bar{R})}{n_{\sigma_{\text{при}}}(\varepsilon, \bar{L}, \bar{R})} \cdot 100\%.$$

Как следует из приведенных на рис. 4 данных максимальные значения ошибки аппроксимации лежат в пределах от  $P = -4,9\%$  (при  $\bar{R} = 0,375$ ) до  $P = +1,2\%$  (при  $\bar{R} = 6$ ).

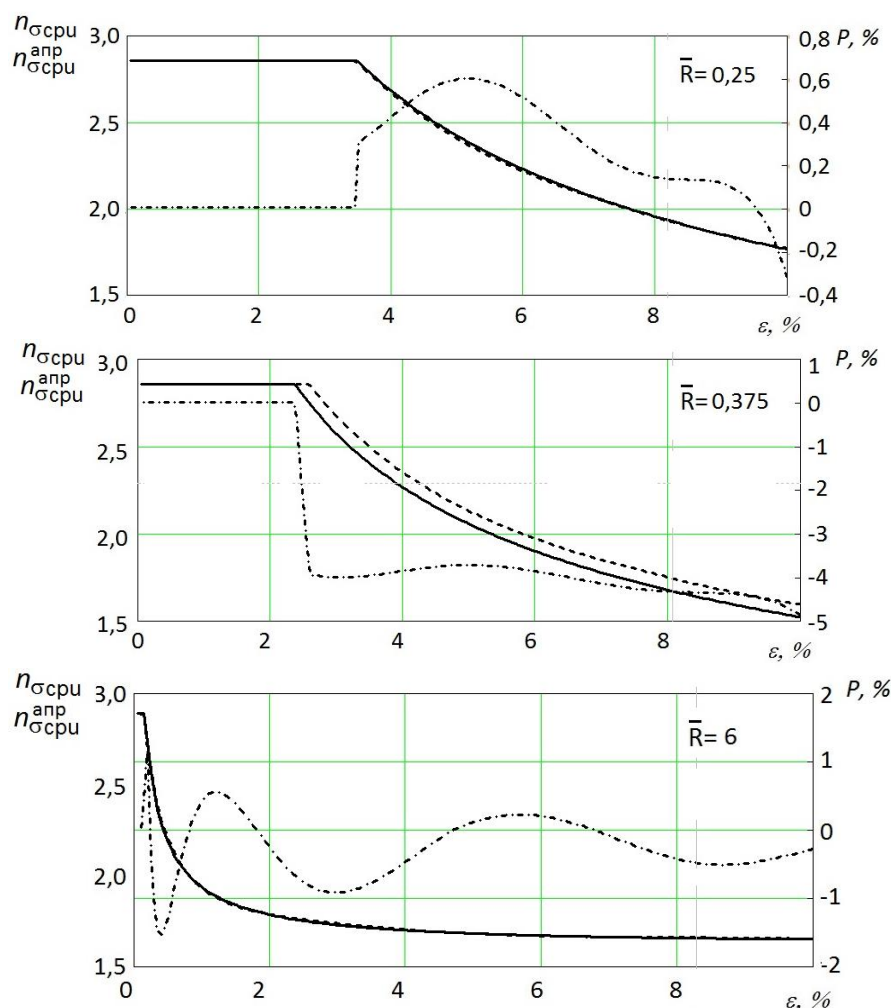


Рис. 4 – Расчётные значения коэффициентов подпора  $n_{\sigma_{ср}}(\varepsilon, \bar{L}, \bar{R})$  (сплошные линии),  $n_{\sigma_{ср}}^{апр}(\varepsilon, \bar{L}, \bar{R})$  (пунктир) и ошибки аппроксимации  $P$  (штрих-пунктир)

Средневзвешенная ошибка аппроксимации  $P_{ср} = 10 \int_0^{0,1} \sqrt{P^2} d\varepsilon$  не превышает  $-4,2\%$  (при  $\bar{R} = 0,375$ ).

#### Практическое использование результатов.

Результаты разработки прошли успешную промышленную апробацию при расчёте маршрутов прокатки в редуционном стане трубопрокатного агрегата (ТПА) «30-102» и калибровочном стане ТПА «350» ООО «Интерпайп Нико-Тьюб».

#### Выводы:

1. Предложены критерии–аналоги для сопоставления процессов простой продольной прокатки листов и непрерывной безоправочной продольной прокатки труб.

2. На базе модифицированного метода баланса работ рассчитаны значения коэффициентов подпора для значений критериев–аналогов, соответствующих реальным процессам редуцирования и калибрования труб.

3. Для упрощения и ускорения вычислительных процедур предложены уравнения, аппроксимирующие расчётные значения коэффициентов подпора.

4. Результаты разработки использованы при расчёте маршрутов прокатки в редуционном стане трубопрокатного агрегата (ТПА) «30-102» и калибровочном стане ТПА «350» ООО «Интерпайп Нико-Тьюб».

#### Список литературы

1. Целиков А.И. Влияние внешнего трения и натяжения на давление металла на валки при прокатке / *Металлург*, 1939, №6. – С. 3–11.
2. Целиков А.И. Прокатные станы. – М.: *Металлургиздат*, 1946. – 560 с.
3. Обработка металлов давлением: учебник / Б.А.Романцев, А.В.Гончарук, Н.М.Вавилкин, С.В.Самусев. – М.: Изд. Дом МИСиС, 2008. – 960 с.
4. Интерпретация метода баланса работ при определении силовых параметров прокатки / Ю.Г.Гуляев, Е.И.Шифрин, Я.В.Фролов, О.А.Ремез – *Вісник НТУ «ХП»* – 2017 – №43 – С. 72–85.
5. Гуляев Ю.Г., Николаенко Ю.М. Технологічні процеси обробки металів тиском. Частина IV: навч. посібник. – Дніпропетровськ: *НМетАУ*, 2014., – 48 с.
6. ехнология непрерывной безоправочной прокатки труб / под редакцией Г.И.Гуляева / Г.И.Гуляев, П.Н.Ившин, И.Н.Ерохин и др. – М., *Металлургия*, 1975. – 264 с.
7. В.В.Швейкин, Г.Я.Гун. Аналитический метод определения удельного давления при прокатке труб без оправки. В сб. «Обработка металлов давлением», том V. – М.: *Металлургиздат*, 1969. – С. 42–46.



8. Редукционные станы / В.П.Аницифоров, Л.С.Зелдович, В.Д.Курганов и др. – М.: Металлургия, 1971. – 256 с.
9. Теория редуцирования труб / В.В.Ериклинцев, Ю.И.Блинов, Д.С.Фридман, Л.М.Грбарник; под науч. ред. В.В.Ериклинцева. – Свердловск: Средне-Уральское книжное издательство, 1970. – 230 с.
10. Алгоритм статистической обработки эмпирических данных / Ю.Г.Гуляев, Е.А.Максимова, М.З.Володарский, А.Г.Карпов – Доклады АН УССР, серия А, №5, 1985. – С. 65-68.
5. Gulyaev Yu.G., Nikolaenko Yu.M. Tehnologichni protsesi obrobki metalliv tiskom. Chastina IV: navch. posibnik. – Dnipropetrovsk: NMetAU, 2014. – 48 p.
6. Tehnologiya nepreryivnoy bezopravочноy prokatki trub / Pod redaktsiyey G.I.Gulyaeva / G.I.Gulyaev, P.N.Ivshin, I.N.Erohin i dr. – Moscow: Metallurgiya, 1975. – 264 p.
7. V.V.Shveykin, G.Ya.Gun. Analiticheskiy metod opredeleniya udelnogo davleniya pri prokatke trub bez opravki. V sb. «Obrabotka metallov davleniem», vol. V. – Moscow: Metallurgizdat, 1969. – P. 42–46.
8. Reduktsionnyye stany / V.P.Anisiforov, L.S.Zeldovich, V.D.Kurganov i dr. – Moscow: Metallurgiya, 1971. – 256 p.
9. Teoriya redutsirovaniya trub / V.V.Eriklintsev, Yu.I.Blinov, D.S.Fridman, L.M.Grabarnik; pod nauch.y red. V.V.Eriklintseva. – Sverdlovsk: Sredne-Uralskoe knizhnoe izdatelstvo, 1970. – 230 p.
10. . Algoritm statisticheskoy obrabotki empiricheskikh dannykh / Yu.G.Gulyaev, E.A.Maksimova, M.Z.Volodarskiy, A.G.Karpov – Doklady AN USSR, seriya A, No5, 1985. – P. 65–68.

## References (transliterated)

1. Tselikov A.I. Vliyaniye vneshnego treniya i natyazheniya na davleniye metalla na valki pri prokatke / Metallurg, 1939, No6. – P. 3–11.
2. Tselikov A.I. Prokatnyye stany. – Moscow: Metallurgizdat, 1946. – 560 p.
3. Obrabotka metallov davleniem: Uchebnik / B.A.Romantsev, A.V.Goncharuk, N.M.Vavilkin, S.V.Samusev. – Moscow: Izd. Dom MISiS, 2008. – 960 p.
4. Interpretatsiya metoda balansa rabot pri opredelenii silovykh parametrov prokatki / Yu.G.Gulyaev, E.I.Shifrin, Ya.V.Frolov, O.A.Remez – Visnik NTU «KhPI» – 2017, No43 – P. 72– 85.

Поступила (received) 05.10.2018

## Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Гуляев Юрий Геннадьевич (Гуляєв Юрій Геннадійович, Gulyaev Yuriy Gennad'yevich)** – доктор технических наук, профессор, ООО «Интерпайп Нико Тьюб», г. Никополь, Украина, научный консультант, тел.: (050) 453-03-23, e-mail: gulyaev.y51@gmail.com

**Шифрин Евгений Исаевич (Шифрін Євген Ісаяович, Shifrin Yevhen Isayovich)** – доктор технических наук, ООО «Днепропресс сталь», г. Днепр, Украина, первый заместитель генерального директора, тел.: (050) 821-13-70, e-mail: shifrinei48@gmail.com